

# LD10 网格加强肋结构壁板的化学铣切工艺研究

刘旭升 黄绍林 姜枫 李吉丹 孙国进

(首都航天机械公司,北京 100076)

**文 摘** 为了寻找到化铣槽液各组分的最佳含量范围,使零件达到稳定化铣侧切率,减少板材铣切厚度差,本研究通过测量对比试片在各组分含量的槽液中铣切壁板的侧切率和均匀度参数来实现。结果表明,当 NaOH 初始浓度为 200 g/L、溶解  $Al^{3+}$  为 70~110 g/L、温度  $(90 \pm 5)^\circ C$  的技术条件下能够得到肋条偏差  $T_w \pm 0.75$  mm、壁厚偏差  $T_s \pm 0.15$  mm 的较理想的化铣产品。

**关键词** 化学铣切,网格加强肋壁板,侧切率,厚度均匀度

## LD10 Aluminum Alloy Lattice Web Chemical Milling Technology

Liu Xusheng Huang Shaolin Jiang Feng Lijidan Sun Guojin

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

**Abstract** The objective of the work is to find out the optimal range of chemical milling liquor composition, which can lead to a stable chemical milling under cut rate and a decrease in milling thickness difference. This work is conducted to measure and compare the milling under cut and rib evenness through a group of experiments which varying the main material composition in chemical milling liquor. It is indicate that under the condition of NaOH 200 g/L, dissolved aluminum 70 to 110 g/L, temperature  $(90 \pm 5)^\circ C$ , the rib width difference reach to  $T_w \pm 0.75$  mm, the thick difference reach to  $T_s \pm 0.15$  mm.

**Key words** Chemical milling, Lattice rib web, Under cut ratio, Thick evenness

### 0 引言

铝合金的化学铣切已经成为航空与航天工业零件成形的可靠加工方法。LD10 铝合金筒段壁板是火箭箱体的重要结构零件,对于壁板零件尺寸肋条允许偏差  $\pm 0.75$  mm,壁厚允许偏差  $\pm 0.15$  mm;本文通过研究不同化学铣切槽液主成分浓度下的铣切产品质量,确定了槽液组分的合理浓度范围,使上述壁板达到尺寸偏差要求。

### 1 试验

#### 1.1 材料及仪器

LD10BCSYu15 铝合金板材  $(2.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m})$ 、SBQ-1 型室温固化可剥漆。

CL5 型超声波测厚仪、游标卡尺、化铣样板。

#### 1.2 化铣工艺流程

毛料验收→去包铝层—涂覆保护膜→固化→使用化铣样板刻型→工序间检查→化铣→热水洗→出

光→冷水洗→去除保护膜→成品检验。

#### 1.3 化铣产品的检测方法

采用 CL5 测厚仪测量网格的腹板厚度,采用游标卡尺测量肋条宽度。

#### 1.4 铝合金化学铣切原理

铝合金的化学铣切的主要化学反应有:



在反应过程中随着溶液中  $NaAlO_2$  逐渐增多,达到饱和后,平衡状态时发生下列水解反应:



### 2 试验参数及结果

#### 2.1 筒段壁板的加工特点

LD10 筒段壁板为网格加强肋结构,网格加强肋结构是介于硬壳式结构和半壳式结构之间的一种结构类型<sup>[1]</sup>,见图 1。化铣时,溶液保护层边界处垂直于零件表面腐蚀的同时,还会平行于表面腐蚀,平行于表面的

腐蚀速度和垂直于表面的腐蚀速度之比称作侧切率, 见图 2。侧切率数值是样板制造的重要依据, 侧切率的变化将直接影响化铣后的肋条宽度, 实际应用中需要控制实际侧切率与样板侧切率基本一致。

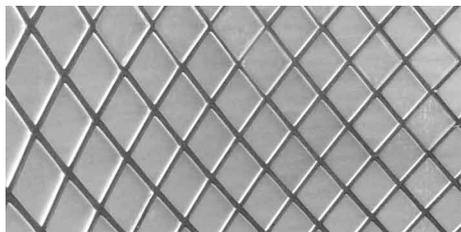


图 1 网格加强肋结构的壁板

Fig. 1 Lattice rib web structure

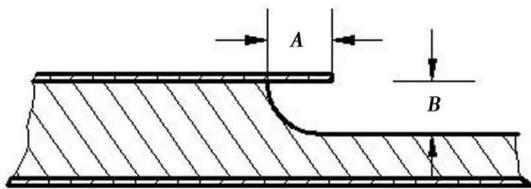


图 2 侧切率示意图

Fig. 2 Under cut ratio diagram

## 2.2 化学铣切溶液的主要成分与作用

NaOH 是化学铣切反应的主腐蚀剂<sup>[2]</sup>, 化铣反应速度与 NaOH 的含量密切相关。

溶解铝主要是指在反应过程中生成的  $AlO_2^-$ , 用于老化溶液, 溶液中溶解铝的多少会影响化铣轮廓线的偏移。

一般视情况还会加入表面整平剂, 用于降低零件表面粗糙度, 同时也是槽液中的辅助腐蚀剂。

## 2.3 化学铣切溶液含量对于厚度均匀度及化铣侧切率的影响

### 2.3.1 槽液成分对化铣参数的影响

设计溶液中的 NaOH 初始含量分别为 145、200、250 g/L, 逐渐调高溶解 Al 的浓度, 设定铣切最小厚度为 12 mm, 固定反应温度  $(90 \pm 5)^\circ C$ , 化铣方式为立铣, 进行对比实验, 确定了在对应碱含量条件下溶解 Al 浓度与化铣参数的关系图, 如图 3~图 5 所示。由图 3 可知, NaOH 含量为 145 g/L 时, 侧切率先升高再降低然后又略微升高; NaOH 含量为 200 g/L 时, 侧切率先降低再升高再降低; NaOH 含量为 250 g/L 时, 侧切率先升高再降低。三种情况下, 当铝含量为 40~110 g/L, 侧切率  $K=0.88 \sim 1.13$ , 化铣后的肋条偏差为 3.25 mm, 不能满足轮廓线偏差  $\pm 0.8$  mm 要求; 当铝含量在 70~110 g/L 时,  $K=0.92 \sim 0.98$ , 同样铣切厚度为 13 mm 的壁板, 实际肋条偏差仅 0.78 mm, 能够满足设计要求。

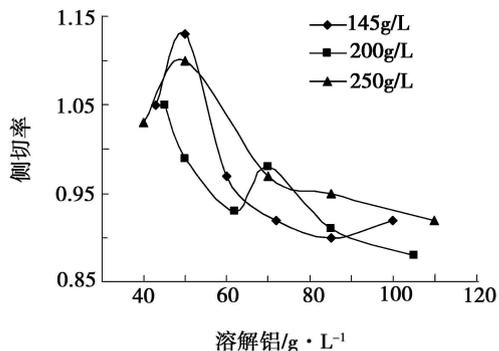


图 3 溶解铝—侧切率关系图

Fig. 3 Dissolved aluminum vs under cut ratio

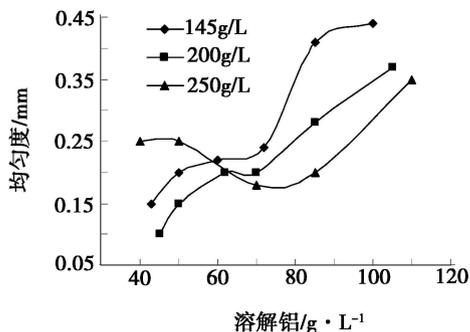


图 4 Al 浓度—壁厚均匀度关系图

Fig. 4 Aluminum solution concentration vs rib width evenness degree

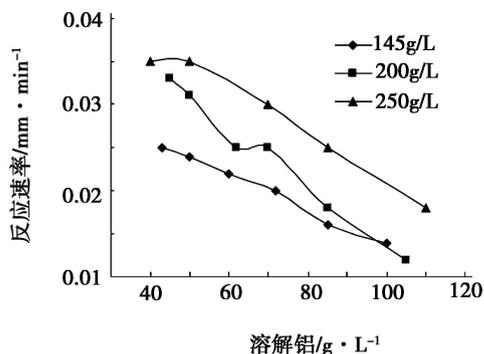


图 5 Al 浓度—反应速率关系图

Fig. 5 Aluminum solution concentration vs reaction rate

图 4 表明, 壁厚均匀度( $D-X$ )基本随 Al 浓度的升高而升高, 当 NaOH 浓度为 145 g/L 时,  $D-X > 0.4$  mm, 其余两组相比之下较好, 数值小于 0.35 mm。

从图 5 可以看出, 反应速度随着碱浓度的上升而上升, 随着 Al 浓度的上升而下降。

由上可知, 槽液中溶解铝提高有利于稳定化铣溶液, 减少肋宽尺寸偏差, 但是化铣均匀度较差; 初步得到适合于 LD10 加强肋结构壁板化铣的工艺参数:  $C_{Al^{3+}} = 70 \sim 110$  g/L; 初始  $C_{NaOH} = 200$  g/L。

### 2.3.2 工艺条件对铣切均匀度的影响

由于立铣时, 固定工艺参数后,  $D-X = 0.18 \sim 0.37$  (mm), 不能满足  $T_s \pm 0.15$  mm 要求。

壁板零件的高度一般在 1.5 m 左右,化铣槽高度为 5 m,虽然在化铣前溶液已经过充分搅拌,但在如此大的空间内很难保证溶液浓度分布均匀、温度分布均匀,会形成由浓度梯度、温度梯度引起的“锥度化铣”。为此,确定了在化铣一定时间后对壁板进行一次上下翻身的工艺处理方法,以解决厚度不均匀的问题,进行了多次重复性实验。

该工艺参数为:反应温度  $T=(90\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ;初始 NaOH 含量:200 g/L;Al 浓度:70~110 g/L;工艺方法:立铣并定时翻身一次;实验共对 20 块筒段壁板进行了处理(生产去掉),测量了每块壁板的侧切率及化铣均匀度,结果见表 1。

表 1 改善化铣方法后的参数

Tab. 1 Parameters under improved process method

零件编号	侧切率	均匀度/mm	零件编号	侧切率	均匀度/mm
1	0.94	0.20	11	0.88	0.23
2	0.93	0.25	12	0.87	0.11
3	0.86	0.21	13	0.90	0.10
4	0.85	0.21	14	0.94	0.30
5	0.90	0.14	15	0.93	0.30
6	0.92	0.18	16	0.90	0.18
7	0.88	0.30	17	0.90	0.25
8	0.87	0.22	18	0.89	0.26
9	0.90	0.20	19	0.91	0.17
10	0.93	0.20	20	0.93	0.25

工艺条件变化后铣切的 20 块壁板,  $D-X=0.1\sim 0.3\text{ mm}$ ,  $K=0.85\sim 0.94$ ; 平均  $K=0.9$ ; 说明零件可以满足壁厚  $T_s\pm 0.15\text{ mm}$  要求。

#### 4 结论

试验表明, LD10 铝合金筒段壁板在  $C_{\text{NaOH}}$  初始为 200 g/L、溶解  $\text{Al}^{3+}$  为 70~110 g/L、温度  $(90\pm 5)^{\circ}\text{C}$  的技术条件下能够得到肋条偏差  $T_w\pm 0.75\text{ mm}$ 、壁厚偏差  $T_s\pm 0.15\text{ mm}$  的化铣产品。

#### 参考文献

[1] 熊焕. 低温贮箱及铬锂合金的应用[J]. 导弹与航天运载技术, 2001(6): 37-39

[2] 栗祜, 沈连桂. 化学铣切[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984: 25

(编辑 任涛)

## 《宇航材料工艺》2012 年征订启事

- 中国科技论文统计源用刊 • 中国中文核心期刊
- 国际宇航文摘(IAA)、美国化学文摘(CA)、金属文摘(METADDEX)收录核心期刊
- 《宇航材料工艺》创刊于 1971 年, 是国内外公开发行的国家级技术类期刊
- 由航天材料及工艺研究所主办
- 入《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网及万方数据资源系统数字化期刊群等
- 在第二届国家期刊奖评比活动中获百种重点期刊奖
- 主要报道我国材料及工艺的科技进展、科研成果和工程实践
- 主要栏目有: 专论、综述、计算材料学、新材料新工艺、测试分析、工程实践、知识窗、科技信息、成果简介以及会议信息等

• 适合于航空航天、冶金、石油化工、机械电子、轻工、汽车、造船等部门, 从事材料工艺研究生产的科研技术人员、管理人员及高校师生阅读。

• 刊号 CN 11-1824/V, 国际标准刊号 ISSN 1007-2330, 双月刊 80 页, 国际大 16 开本, 激光照排, 逢双月出版, 每期 15.00 元, 全年 90.00 元, 2012 年的征订工作已经开始, 欢迎各界读者从速订阅。

本刊参加了天津半导体杂志社的联合征订, 可汇款至天津半导体杂志社, 邮编 300220, 注明“订阅《宇航材料工艺》, 代号 9769”。也可直接在编辑部订阅。

信汇开户行: 北京市工商银行东高地支行

户名: 航天材料及工艺研究所 账号: 0200006509008800374(务必将订单与银行回执复印件寄回)

邮汇地址: 100076 北京市 9200 信箱 73 分箱 18 号《宇航材料工艺》编辑部

电话: 010-68383269; E-mail: 703@china.com 网址: <http://www.yhclgy.com>